

UTILIZAÇÃO DOS DEPÓSITOS DE ENCOSTAS DOS BREJOS PERNAMBUCANOS COMO MARCADORES PALEOCLIMÁTICOS DO QUATERNÁRIO TARDIO NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Corrêa
Pesquisador CNPQ
Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, CEP 50670-901, Recife (PE) - Brasil
Tel/Fax.: (81) 21268277 - antonio.correa@cnpq.br

Danielle Gomes da Silva
Universidade Federal de Pernambuco
dannavlis@yahoo.com.br

Jefferson Santana Melo
Universidade Federal de Pernambuco
jeffermello@hotmail.com

RESUMO

A avaliação da dinâmica geomorfológica de áreas ecologicamente disjuntas dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema priorizou a ocorrência de depósitos sedimentares datáveis, que foram identificados após um levantamento qualitativo das feições geomorfológicas. As áreas tipo escolhidas foram o maciço da Serra da Baixa Verde e Brejo da Madre de Deus, Pernambuco. Dentre as diversas feições encontradas, foram os depósitos de encosta, os colúvios, sob a forma de rampas e aventais que foram escolhidos para a reconstrução da dinâmica geomorfológica. A estratigrafia dos materiais que estruturam a superfície da paisagem foi definida a partir da elaboração de seções verticais. A datação por LOE foi realizada a fim de uma reconstrução modelística qualitativa dos eventos deposicionais. Os resultados obtidos indicam a ocorrência de eventos pontuais de remobilização do material de encosta como resposta dinâmica dos sistemas geomorfológicos aos eventos de oscilações climáticas desde o UMG.

Palavras-chave: Dinâmica Geomorfológica, Colúvios, Datação por LOE.

ABSTRACT

The assessment of the geomorphological dynamics of ecologically discontinuous areas in the elevated compartments of Borborema Highlands has prioritized the occurrence of datable sedimentary deposits, which have been identified following a qualitative surveying of geomorphological features. The chosen pilot-areas for the conduction of this research were the Baixa Verde massif and the highlands of Brejo da Madre de Deus, State of Pernambuco. Among the several identified features, hill slope deposits, colluvium, in the shape of ramps and aprons were chosen for reconstructing the geomorphological dynamics. The stratigraphy of materials that overlie the surface of the landscape was defined following the elaboration of log sections. Optically stimulated luminescence dating of sediments was used as a tool for the qualitative reconstruction of depositional events and establishing models for landforms evolution. The obtained results indicated the occurrence of discrete events of material remobilization along the slopes as a response to climatic oscillations following the last glacial maximum.

Keywords: Geomorphologic dynamics, colluvium, OSL dating.

Introdução

O presente trabalho visa desenvolver comparações entre os modelos qualitativos de evolução geomorfológica dos modelados deposicionais situados sobre as superfícies elevadas do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil. O objeto desta investigação foram os depósitos de encosta que exibem coerência morfoestratigráfica, ou seja, que estejam diretamente relacionados às formas resultantes. A reconstrução modelística, qualitativa, dos eventos deposicionais no âmbito das encostas foi orientada para a elucidação de suas possíveis implicações paleoecológicas, ou seja, a reconstrução das paleogeografias do Quaternário superior para as áreas em questão. A partir da identificação de áreas-tipo de estocagem de sedimentos de encostas, e seus respectivos modelados, foram realizados experimentos

sedimentológicos visando à caracterização dos ambientes deposicionais vigentes, em seguida, as unidades morfoestratigráficas assim definidas foram submetidas à datação absoluta pelo método da LOE (Luminescência Ópticamente Estimulada). Também foi realizada uma extensa revisão da literatura concernente à datação absoluta de materiais de relevância geomorfológica em ambientes de encostas e as idades finais foram tomadas como referência para a elaboração das conclusões. A definição da temporalidade dos eventos formadores das unidades morfoestratigráficas, bem como suas características genéticas permitiu realizar uma primeira aproximação entre a frequência e origem de episódios deposicionais estruturadores do relevo em áreas ecologicamente disjunta, como os brejos de altitude no Nordeste. A comparação permitiu ainda tecer considerações iniciais sobre a magnitude e frequência dos eventos formativos atuantes sobre as superfícies elevadas da Borborema ao longo do Quaternário superior.

Colúvios Como Depósitos Climaticamente Sensíveis

Muito tem sido dito a cerca da definição do termo colúvio. Optou-se por utilizar esta definição para qualquer depósito sedimentar que se acumule ao longo de uma encosta em consequência do transporte gravitacional, a despeito do conteúdo original de água nesses materiais. Ruchin (1958 apud MABESOONE, 1982) definiu colúvio “*stricto senso*” como sendo depósitos resultantes dos fluxos gravitacionais.

Porém, Mabesoone (1982) diz que tais depósitos são, em muitos casos, semelhantes à fácies eluvial: são normalmente delimitados na base pelo embasamento rochoso, exibem má seleção de material e originam-se de áreas fontes muito próximas. Em geral, os sedimentos coluvionares compartilham as mesmas características que os da fácies eluvial. Isto decorre do fato de os primeiros geralmente derivarem diretamente dos últimos.

Plaisance e Cailloux (1958) propuseram uma definição genética para colúvio, como sendo materiais transportados encosta abaixo pela solifluxão e escoamento superficial. Eles enfatizam que tais depósitos são mal estratificados e, às vezes, não se diferenciam dos regolitos locais, sendo formados em resposta a mudanças na cobertura vegetal ao longo das encostas.

No entanto, Thomas (1994) optou por definir colúvio como um termo impreciso que agrupa muitos tipos diferentes de materiais e processos. Ele também reconheceu que apesar de os colúvios serem sempre interpretados como uma consequência de grandes mudanças climáticas regionais para condições mais áridas ou mais úmidas, estes também podem ocorrer como consequência de eventos menores, de alta magnitude, que eventualmente ultrapassem patamares formativos dentro dos sistemas de encostas.

Os colúvios têm sido usados como fonte de dados para reconstruir a história geomórfica das paisagens. A evidência para eventos pretéritos pode ser reconhecida pelo desenvolvimento de horizontes incipientes, estratificação ocasional do depósito ou sobrevivência de estruturas sedimentares, separação de depósitos por lentes de materiais de outras origens (*Stone-lines*) e incorporação de materiais datáveis. De acordo com Selby (1993), a maior parte das encostas tem uma longa história de desenvolvimento que pode fornecer informações sobre as taxas de mudanças, frequência de eventos geomórficos passados e páleo-ambientes. A evidência de eventos passados, se preservada, ocorre sob a forma de páleo-horizontes e depósitos deixados por esses eventos. A interpretação desse material requer, entretanto, uma compreensão de suas posições numa paisagem antiga.

A geomorfologia clássica tentou interpretar o desenvolvimento histórico das encostas apenas pela análise das suas formas, que representariam evidências materiais auto-explicativas dos padrões evolucionários. Mousinho e Monteiro (1979) e Mousinho e Moura (1984) tentaram introduzir o parâmetro da análise dos materiais ao estudo dos sedimentos de encostas no Brasil, enfatizando o papel da litologia e estratigrafia sob o condicionamento da topografia. As rampas de colúvio foram descritas como depósitos complexos de granulometria fina, mal selecionados e mal estratificados, contendo linhas descontínuas de quartzo, quartzito e outros fragmentos alterados de rocha. A ocorrência de linhas de seixos foi condicionada à disponibilidade de material rudáceo nas áreas fontes. Os depósitos mais antigos podem ser retrabalhados, levando a concentração de cascalhos por evacuação dos finos, e à formação de linhas de seixos.

Todavia, na maioria das vezes a estratigrafia coluvionar é muito mais complexa do que se possa

sugerir. Ciclos de erosão e deposição não são completos e evidências de atividade nas encostas tornam-se sempre truncados e incompletos, ao menos no que pode ser inferido a partir de registro sedimentar.

Alguns trabalhos tentaram estabelecer a relação entre o escoamento e a produção de sedimento durante e após uma mudança climática. Knox (1972) introduziu um modelo que sugere que mudanças climáticas podem ocorrer de repente, em vez de gradativamente, como sugeria a maioria dos autores até então. De acordo com a proposta dele, um aumento abrupto e permanente da precipitação, como consequência de uma mudança no padrão de circulação regional, provocará erosão nas altas encostas, até que a vegetação possa desenvolver uma resposta adequada às novas condições climáticas. O resultado é um período curto de alta produção de sedimento seguido de um decréscimo. Esta interpretação parece mais coerente com a disponibilidade de energia no sistema morfoclimático semi-árido.

Schumm (1977) afirma que é incontestavelmente verdadeiro que uma mudança no clima desencadeará um período de instabilidade na paisagem, que produzirá maiores taxas erosiva e de produção de sedimento, ainda que tais variações de grande escala possam ser difíceis de distinguir dos efeitos dos eventos de alta magnitude e rara recorrência de incidência aleatória.

Sendo assim, Thomas e Thorp (1995) trataram da reconstrução da paisagem quaternária dos trópicos, e afirmaram que a compreensão da dinâmica da paisagem como resposta às mudanças climáticas necessita advir da análise, datação e interpretação dos depósitos aluviais e colúviais, reconhecendo que as mudanças climáticas podem ser abruptas, muitas vezes levando apenas cerca de 10^2 anos para uma paisagem se ajustar de um modo climático para outro, em vez de 10^3 , como se acreditava antes.

Um depósito, em particular, ou compartimento de relevo, pode representar a consequência de um evento geomórfico discreto cobrindo um intervalo de tempo de não mais que 10^2 anos, ou menos, até mesmo 10^{-1} anos, ou seja, dias ou meses. A preservação das formas resultantes na paisagem dependerá dos patamares que os novos ventos formativos terão que exceder a fim de gerar as novas formas (THOMAS e THORP, 1995).

A importância dos colúvios como indicadores paleoclimáticos foi exaustivamente analisada em muitos trabalhos. Podem-se resumir as evidências, ao menos para o Nordeste do Brasil, dizendo que provavelmente este tipo de depósito não está se formando sob as condições atuais. Genericamente, os colúvios parecem estar associados a condições de mudanças climáticas no princípio do Holoceno. Contudo, ainda é necessário estabelecer quando e como eles se formam.

Colúvios no Brasil Tropical

Os colúvios respondem por até 50% da cobertura superficial da paisagem em algumas áreas tropicais. Moura et al. (1993), ressalta que estas feições em rampas ganham importância nos estudos geomorfológicos das regiões tropicais úmidas, pois configuram tanto em superfície como sub-superficialmente, relações intrínsecas à dinâmica das cabeceiras de drenagem não canalizadas e anfiteatros, caracterizando-se como unidades fundamentais na análise da evolução do relevo. Entretanto, a maioria dos estudos foi realizada no planalto cristalino do Sudeste do Brasil.

Um destes trabalhos tentou estabelecer uma ligação direta entre o intemperismo e a formação de depósitos de encosta no Planalto de Itatiaia (MODENESI e TOLEDO, 1996). O coluvionamento holocênico nas baixas encostas do Planalto de Itatiaia foi tratado como sendo uma consequência do retrabalhamento do manto de intemperismo situado a jusante. Os depósitos grossos de blocos estão associados a climas mais frios e mais secos do último máximo glacial, enquanto os colúvios finos foram relacionados a mudanças para condições mais úmidas e quentes durante o Holoceno, após uma alteração caulínica da rocha mãe. Duas gerações de colúvios foram reconhecidas, separadas por linhas de seixos descontínuas, datadas de aproximadamente 8 Ka ap. Na área os colúvios estão restritos às médias e baixas encostas do vale, não alcançando a planície de inundação.

Modenesi e Toledo (1996) optaram por interpretar todos os depósitos mais rudáceos como relíquias climáticas, frutos de mudanças regionais na circulação atmosférica, e identifica a ocorrência de ciclos de congelamento durante o último máximo glacial como o mecanismo responsável pela fragmentação dos

blocos.

Outros trabalhos exibem uma abordagem climática/hidrológica ao tema dos processos formadores de colúvio em ambientes tropicais. Fernandes et al. (1994) estudaram a hidrologia de subsuperfície dos mantos estratificados de colúvio em cabeceiras de drenagem não canalizadas nos planaltos cristalinos do Sudeste do Brasil. Os autores tentaram avaliar os efeitos da hidrologia de superfície sobre a evolução dos processos erosivos dentro de uma seqüência estratificada de colúvios.

Fernandes et al. (1994) constataram que, apesar da presença de um preenchimento coluvionar altamente descontínuo, camadas sobrepostas de colúvio – o maior fator controlador da hidrologia das encostas desta paisagem é a topografia contemporânea, e o mesmo pode ter se dado durante a deposição das unidades sedimentares. As feições páleo-topográficas exercem apenas um controle localizado sobre a expansão preferencial da zona saturada, em direção a áreas além do eixo da cabeceira de drenagem – alvéolo. Desta forma a topografia superficial e a morfologia dos corpos litológicos desempenham um papel primordial no controle do fluxo de superfície e da estabilidade de encostas nessa área. Este estudo reforça a importância da abordagem morfoestratigráfica, e demonstra que no caso dos depósitos recentes os controles topográficos sobre a deposição são geralmente os mais importantes.

Outra área de interesse no Sudeste foi estudada, onde depósitos escuros de cabeceiras de drenagem ricos em matéria orgânica, em geral sobrepostos por colúvios, foram observados em diversos alvéolos elevados dos Planaltos do Sudeste do Brasil, e podem conter dados valiosos sobre a história natural da região. Um desses depósitos foi estudado por Behling e Lichte (1997) em Catas Altas (20°S), Minas Gerais. Os autores aplicaram a datação por ^{14}C e análise de pólen para um testemunho sedimentar de 248 cm de comprimento.

Os depósitos orgânicos estavam recobertos por depósitos de colúvio amarelo de dois metros de espessura. Sete idades obtidas por ^{14}C forneceram um controle cronológico para a área. A amostra mais superficial, da zona de transição entre os sedimentos de encosta e a camada de matéria orgânica foi datada de 8.310 anos a.p. Esta data indica que os depósitos oriundos do UMG foram erodidos, uma vez que a 30 cm da superfície as datas retrocederam a mais de 20.000 a.p. Este hiato na sedimentação também é observado em outras áreas e pode ser uma evidência da ocorrência de uma fase substancialmente erosiva, não deposicional, durante o Holoceno inferior.

O registro de mudanças ambientais do Quaternário tardio no Nordeste do Brasil é espacialmente complexo. A semi-aridez contemporânea da região inibiu a busca de áreas potenciais mais óbvias para coletas de material, como lagos e pântanos, entretanto, a paisagem da região está impregnada de formas de relevo que por elas mesmas servem de evidência para a ocorrência de mudanças nos processos ambientais formativos.

Sob climas áridos e semi-áridos a fácies coluvial têm distribuição restrita, confinados às áreas ecologicamente disjuntas como os brejos de altitude e exposição, ou seja, os topos, vertentes a barlavento, sopés, piemontes e vales elevados dos maciços e relevos residuais, expostos às correntes atmosféricas úmidas. Os depósitos correlativos dessas áreas indicam que as condições climáticas passadas não foram homogêneas, mas sim caracterizadas por extremos contrastes entre aridez e umidade.

Sendo assim, a reconstrução paleoclimática do Quaternário nessas áreas de relativa exceção climática do Nordeste do Brasil torna-se imprescindível, principalmente em vista da estabilidade paleogeográfica da região durante o Holoceno.

Áreas de Estudo

A Serra da Baixa Verde

O maciço da Serra da Baixa Verde localiza-se no centro norte do Estado de Pernambuco e constitui-se de um batólito sienítico topograficamente ressaltado, situado a cerca de 400 km da cidade do Recife. A área em questão é delimitada pelos paralelos 7° 41' S e 7° 54' S, e os meridianos 38° 00' W e 38° 11' W.

W, perfazendo uma superfície total de aproximadamente 400 km². O maciço da Serra da Baixa Verde integra o alto divisor hidrográfico entre os Estados de Pernambuco e Paraíba, separando as bacias do rio Piancó, ao norte, e do Pajeú, ao sul. Sobre a serra situam-se dois municípios pernambucanos: Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde (Figura 1). O mapa topográfico de referência para a área é a folha SB. 24 – Z – C – V Serra Talhada da SUDENE, em escala de 1:100.000.

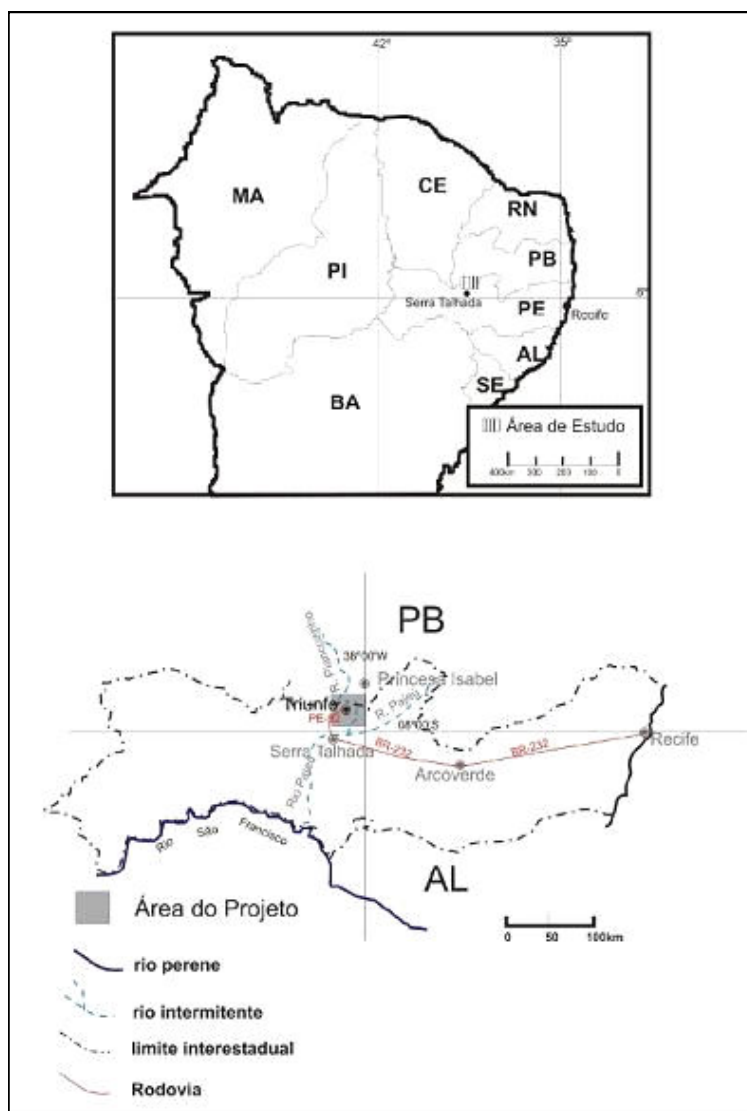


Figura 1 – Localização da área de estudo na Serra da Baixa Verde

Brejo da Madre de Deus

A área de estudo localiza-se na porção centro-leste do estado de Pernambuco, no distrito de Tabocas, divisa entre os municípios de Brejo da Madre de Deus e Belo Jardim, a 200 km da cidade do Recife, inserido dentro da folha topográfica Belo Jardim (SC-24-X-B-III), delimitado entre as coordenadas 8°04'10" e 8°22'26" de latitude sul e 36°17'16" e 36°30' de longitude oeste (Figura 2). Inserido dentro dos domínios da bacia hidrográfica do Rio Capibaribe, o corpo granítico da área é integrante do Batólito

Caruaru-Arcoverde, o maior corpo da associação cálcio-alcálica de alto potássio da Província Borborema.

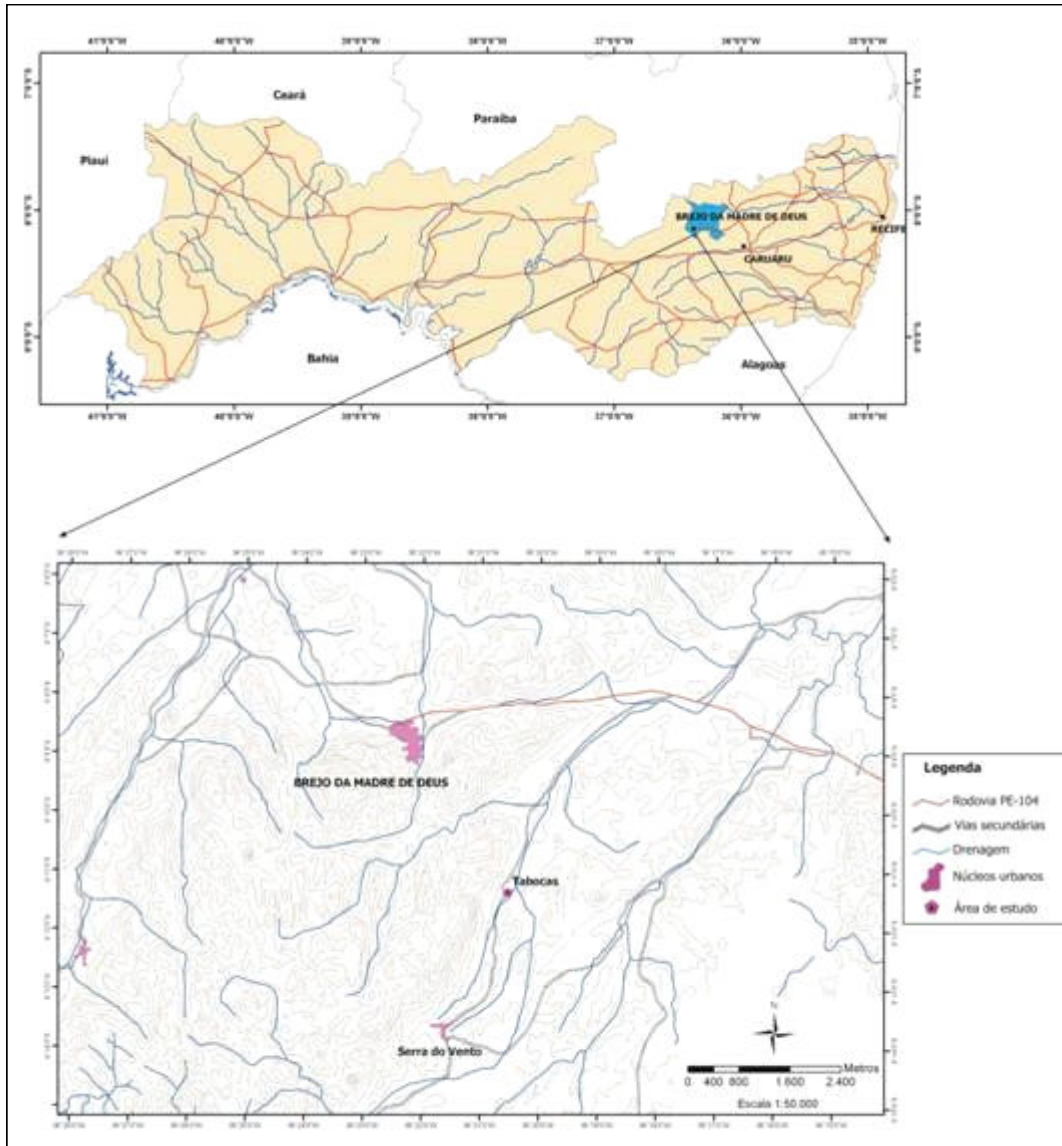


Figura 2 – Localização da área de estudo em Brejo da Madre de Deus, Pernambuco

Materiais e Métodos

As áreas de coletas de amostras estão localizadas nos municípios de Triunfo, Santa Cruz da baixa Verde, Serra Talhada e Brejo da Madre de Deus, Estado de Pernambuco, topograficamente localizados sobre as encostas ou cimeiras homônimas.

A fase de amostragem estruturou-se a partir de uma combinação de diferentes estratégias e técnicas de coletas, objetivando a cobertura de diferentes tipos de materiais sedimentares destinados a diferentes análises laboratoriais.

Colunas Estratigráficas

Uma investigação preliminar das áreas de coletas foi conduzida a fim de determinar as suas características morfométricas e a natureza do material parental (sedimento coluvial ou regolito *in situ*) contido dentro dos seus limites. Este procedimento possibilitou a escolha de áreas para a coleta com características estratigráficas que favoreceram a reconstrução da dinâmica ambiental da área. A tradagem extensiva dos alvéolos não foi necessária devido à ocorrência ubíqua de voçorocas, radiais ou paralelas aos eixos das encostas, cortando todo o pacote sedimentar até o contato com o embasamento rochoso e cortes de estradas. O arcabouço morfoestratigráfico foi utilizado como guia para a coleta de amostras para todas as demais análises, tomando-se como base as descontinuidades deposicionais encontradas ao longo do perfil. Inicialmente foi realizada uma descrição da macro-fábrica dos sedimentos na própria trincheira a partir da proposta de Gale & Hoare (1991), uma vez que a arquitetura do depósito rudáceo, contendo seixos e calhaus, não poderia ser reconstituída em laboratório apenas pela análise granulométrica e morfoscópica dos fenoclastos. O principal resultado desta fase de trabalho foi à construção de seções verticais detalhadas para cada área de amostragem.

Aspectos Geomorfológicos

A fim de proporcionar uma melhor visualização das áreas em apreço, foram construídos mapas geomorfológicos para cada área considerada, englobando as cinco áreas de amostragem, utilizando cobertura aerofotogramétrica a 1:25.000 (para a área da Serra da Baixa Verde) realizada em 1982 pela Aerosul e que se encontra nos arquivos da EMATER (órgão de terras da Secretaria de Agricultura do Estado de Pernambuco). O mapa geomorfológico da área de Brejo da Madre de Deus foi confeccionado utilizando dados topográficos do SRTM fornecidos pela EMBRAPA, a carta topográfica Belo Jardim da SUDENE a 1:100.000, imagens satélite do programa Google Earth e fotografias aéreas.

A coleta de amostra foi realizada em duas áreas distintas no âmbito do maciço da Serra da Baixa Verde. A primeira trata-se de um alvéolo elevado, entre 850 e 1.100 metros de altitude, onde se distinguiram duas formas distintas de recobrimento coluvial das encostas: um avental de colúvio balizando uma elevação circular, formando encostas suaves de geometria suavemente convexa. O segundo ponto escolhido foi uma cabeceira de drenagem côncava, do tipo hollow, com recobrimento coluvial segmentado ao longo do perfil, com concentração de material na média e na baixa encosta. Por estarem situadas na cimeira do maciço, estas gozam de clima sub-úmido (Figura 3).

A segunda área de coleta situa-se na encosta meridional do maciço em aventais de colúvio que ocorrem ao longo de um dos “espigões” que forma a vertente da Serra da Baixa Verde. A elevação em questão apresenta direção SW-NE (trend regional das ZC’s). Foram escolhidos 2 pontos de amostragem: um na extremidade sul do “inselberg”, supostamente numa posição de barlavento, e outro na face norte da elevação, na sombra pluvial (Figura 4).

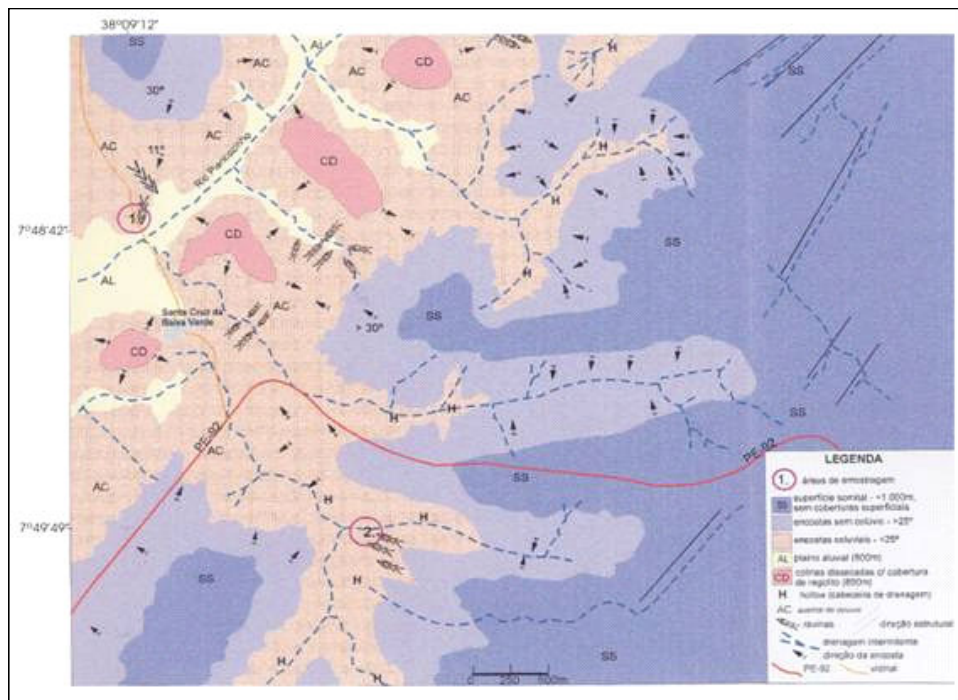


Figura 3 – Mapa geomorfológico do Maciço da Serra da Baixa Verde – Áreas de coletas 1 e 2.

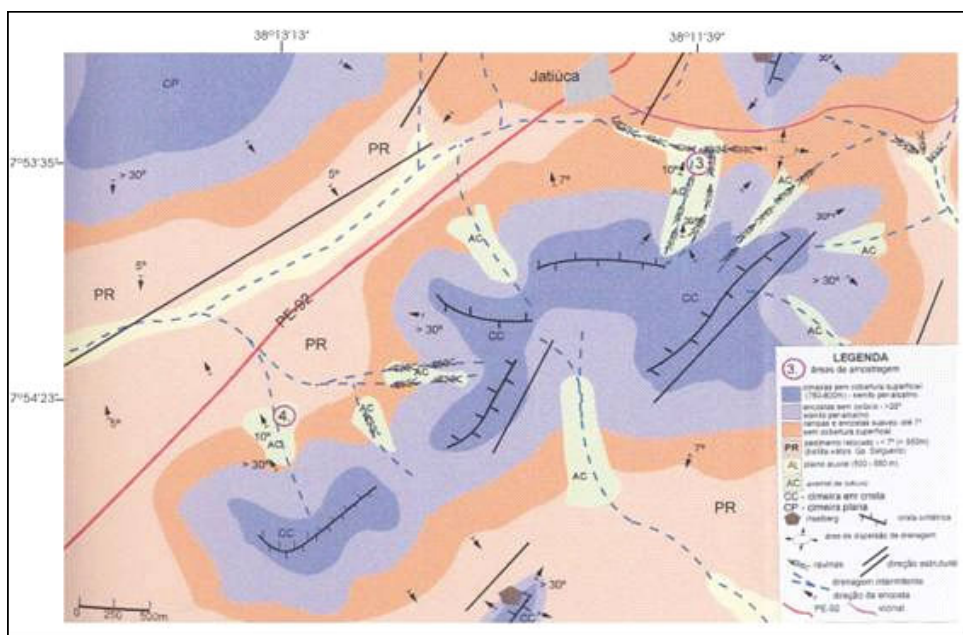


Figura 4 – Mapa geomorfológico, Serra da Baixa Verde – Áreas de coletas 3 e 4

Em Brejo da Madre de Deus, a área de coleta localiza-se num vale estrutural formada por uma silhueta de serras que seguem, grosso modo, as direções estruturais dominantes do embasamento cristalino (NE-SW) e que se elevam até 800 metros de altitude, dando a área uma posição de sombra pluvial. O ponto de amostragem trata-se de uma rampa coluvial que provem das baixas encostas, de geometria côncava, que se estende até o pedimento (Figura 5).

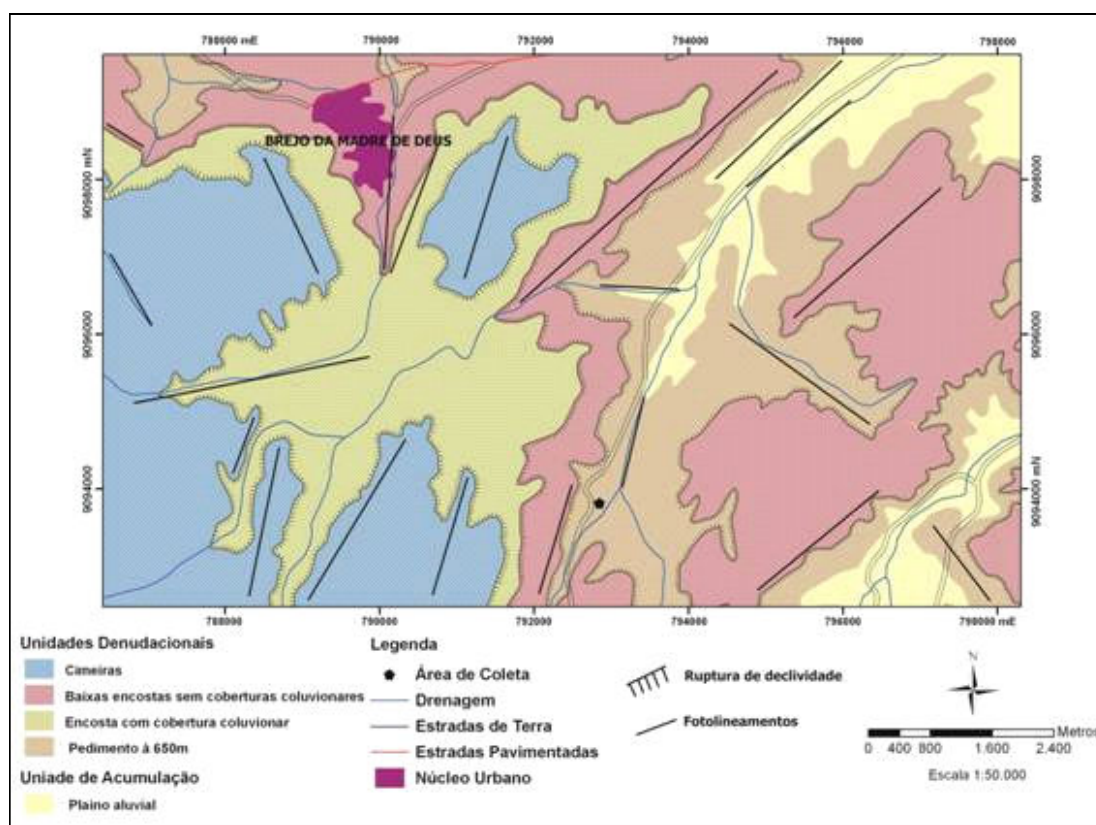


Figura 5 – Mapa geomorfológico da área de Tabocas, Brejo da Madre de Deus.

Datação pelo Método da Luminescência Opticamente Estimada (LOE)

As vantagens do método da LOE sobre os demais procedimentos de datação de sedimentos recentes, como o C^{14} , por exemplo, advém do fato de este explorar uma propriedade física – a luminescência – inerente aos sólidos cristalinos (minerais) encontrados no próprio depósito, prioritariamente o quartzo e o feldspato. Assim sendo, a LOE se converte em método de datação absoluta de eventos deposicionais. Sua abrangência temporal vai desde cerca de 100 anos ap. até 1Ma, dependendo dos níveis de saturação do material analisado (AITKEN, 1998; WAGNER, 1998), portanto o método da LOE se presta para a datação de eventos deposicionais ocorridos ao longo do Quaternário, desde eventos climáticos regionais de grande magnitude (mudanças nos padrões de circulação regional), eventos tectônicos que afetaram a rede de drenagem (inversão e capturas por soerguimento das cabeceiras), até episódios erosivos recentes, desencadeados por alterações nos padrões de uso do solo.

Os métodos de datação por luminescência abrangem uma gama de técnicas baseadas no acúmulo de cargas radioativas produzidas por uma população de elétrons aprisionados em minerais cristalinos. Estes métodos são capazes de estabelecer o período de tempo transcorrido desde que a população aprisionada de elétrons foi liberada pela última vez.

O evento de liberação da carga acumulada para os materiais sedimentares é o instante em que este material foi exposto à luz diurna pela última vez, antes de ser recoberto por novo episódio deposicional. A técnica se impôs a partir da década de 1980 e das contribuições de Huntley et al. (1985; 1988). A descoberta mais significativa foi, sem dúvida, a da possibilidade de medir o sinal de luminescência diretamente relacionado à carga da população de elétrons aprisionada no cristal, mediante estímulo luminoso, assim definindo o próprio método da LOE (Luminescência Opticamente Estimada).

Segundo Stokes (1999) a abordagem teórica da LOE é mais coerente do que a da TL (Termoluminescência), muito utilizada até o surgimento do novo método, principalmente ao ser aplicado a depósitos sedimentares de ambientes aquosos, pois o mecanismo de liberação das cargas aprisionadas por foto-estímulo é mais próximo do natural, decorrente da iluminação solar, do que o térmico utilizado pela TL.

A família dos métodos de datação baseados na luminescência tem o seu mecanismo de operação assentado sobre o decaimento radioativo. Eles medem um sinal que se relaciona com a transferência de elétrons, a partir de defeitos inerentes aos materiais cristalinos semicondutores (STOKES, 1999), sobretudo o quartzo e o feldspato. Os defeitos são próprios à estrutura cristalográfica dos minerais.

Os elétrons são liberados do seu estado estável por uma adição de energia ao sistema, como quando são expostos à radiação ionizante proveniente do decaimento radioativo. Uma vez aprisionados, uma parte da população de elétrons pode-se fixar em áreas defeituosas, tornando-se estáveis, até que uma nova adição de energia seja introduzida por via óptica ou térmica. Esta energia adicional supera um patamar de ativação e permite que os elétrons se combinem a “vazios” nos centros de recombinação. Os elétrons, então, retornam ao seu estado de base e, se o centro de recombinação for do tipo luminescente, a energia é emitida em forma de fótons. Uma emissão de luminescência que se segue ao estímulo ótico é chamada de LOE; se admitem duas subdivisões deste método, de acordo com o comprimento de onda da fonte luminescente: LEIF – Luminescência do Infravermelho, para o feldspato potássico e LLV – Luminescência de Luz Verde para o quartzo.

O método da LOE presume que qualquer carga pretérita de elétrons contida em um sedimento é substancialmente reduzida, ou completamente removida, durante os processos de erosão, transporte e sedimentação, restando apenas uma pequena carga residual não removível. Geoffrey-Smith et al (1988) demonstraram que no caso do quartzo e do feldspato, a redução do sinal por estímulo óptico chega a níveis muito baixos, obtendo-se valores residuais inferiores a 5% da carga inicial após uma exposição à luz do sol por um minuto.

Rendell et al. (1994) também demonstraram a eficácia do esvaziamento do sinal de luminescência óptica no quartzo e no feldspato, após uma exposição a três horas de luz, a uma profundidade de 12 metros sob a água, apesar de o espectro solar ser substancialmente atenuado a esta profundidade. Estes experimentos confirmaram a melhor adequação do método da LOE para a datação de sedimentos de encosta e fluviais, depositados em condições sub-aquosas.

A luminescência opticamente estimulada (LOE) pode ser utilizada para estimar o tempo transcorrido desde que os clastos componentes de um sedimento foram expostos pela última vez à luz do sol; portanto, a técnica fornece a idade da última estabilização do depósito. Considerando-se que a luminescência nos minerais naturais é uma função da exposição à radiação ambiental, e que pode ser esvaziada por exposição à luz durante o transporte e a deposição. A forma básica para o cálculo da idade por luminescência pode ser expressa pela equação:

$$\text{Idade} = \text{Paleodose} / \text{Dose Ambiental}$$

A paleodose também é conhecida como dose equivalente (ED), e corresponde à radiação ionizante do decaimento dos isótopos de urânio, tório e potássio, incluindo-se uma contribuição menor da radiação cósmica, à qual o material esteve exposto desde a sua deposição.

A dose ambiental corresponde à taxa com que a amostra foi exposta à radiação ionizante e, portanto, à taxa pela qual a população de elétrons foi acumulada. Se o intervalo de tempo considerado for igual a um ano, refere-se a esta taxa como “Dose Anual”. O cálculo da dose anual pode ainda ser complicado, atenuado, pelos níveis de umidade ambiental e outros fatores como o intemperismo químico, de maneira que a sua fórmula final pode ser expressa da seguinte forma:

$$D_a = 0,92 (D_{\tilde{a}}) / 1 + 1,25 H_2O + D_c / 1 + 1,14 H_2O + D_c + (D_{\tilde{ai}})$$

Onde, D_a (dose anual), D_β (dose de radiação beta), D_γ (dose de radiação gama), D_c (dose de radiação cósmica), D_{β_i} (dose de radiação beta interna oriunda do K^{40} para as amostras de K-feldspato) e H_2O (teor de água da amostra, expresso de 0 a 1).

A dose ambiental é uma medida do valor da radiação ionizante à qual o mineral é submetido. Esta pode ser determinada pelos métodos da ativação de nêutrons, pela bTLD (dose de termoluminescência da radiação beta) e pela espectrometria gama de alta resolução que permite ainda verificar a ocorrência de equilíbrio radioativo no depósito.

A datação óptica vale-se do fato de que a luz do sol libera os elétrons de armadilhas sensíveis existentes na estrutura cristalográfica do cristal de quartzo ou feldspato. A liberação dos elétrons aprisionados por estímulo luminoso reduz o sinal da LOE a zero. Quando os grãos são soterrados e permanecem fora do alcance da luz solar, eles começam a acumular uma população de elétrons aprisionados devido ao efeito da radiação ionizante emitida pelo decaimento de radioisótopos contidos no próprio depósito. Uma parte desta radioatividade natural origina-se dentro dos próprios grãos de quartzo e feldspato (radiação beta), mas a dose de radiação é oriunda, principalmente, do depósito em si (radiação gama). Se o fluxo de radiação ionizante for constante, então o tempo de soterramento pode ser determinado pela medição da dose armazenada nos grãos, dividida pelo fluxo da radiação ionizante ambiental (dose ambiental).

Em circunstâncias nas quais os sedimentos não foram suficientemente expostos à luz solar antes da deposição, as técnicas normais de LOE superestimam o tempo decorrido desde o último soterramento; portanto, deve-se estabelecer, a partir de diversos pré-testes, a viabilidade da datação.

Segundo Clarke et al. (1999), os sedimentos que sofreram um “zeramento” adequado do sinal de luminescência durante o transporte, exibirão uma dose acumulada de radiação similar, desde que o material tenha uma sensibilidade homogênea à radiação ambiental ionizante – daí a necessidade de verificar a consistência mineralógica do material a ser datado. Também é necessário que a radiação ambiental tenha se mantido homogênea ao longo do tempo considerado, sem que tenha ocorrido substancial “desequilíbrio” devido a fatores externos, como um acentuado intemperismo químico.

A Determinação da Dose Anual

Existe uma gama de técnicas para a avaliação da dose anual. Uma vez que se conheça a concentração dos elementos potássio, urânio e tório, a dose anual pode ser calculada aceitando-se a premissa do equilíbrio radioativo das cadeias de decaimento do urânio e do tório. Para tanto, utilizam-se fatores de conversão, que fornecem a dose de radiação para uma matriz quase infinita por unidade de concentração. Neste trabalho utilizaram-se os fatores atualizados de Adamiec e Aitken (1998). A contribuição dos raios cósmicos é estimada de acordo com a profundidade do material, altitude e latitude da área amostrada.

Simplificadamente, a dose anual é obtida pela seguinte fórmula:

$$D_a = D_\beta + D_\gamma + D_c + D_{\beta_i}$$

Onde: D_a – Dose anual; D_β – Dose beta; D_γ – Dose Gama; D_c – Dose cósmica e D_{β_i} – Dose beta interna oriunda do ^{40}K para as amostras de feldspato potássico datadas por LOE do infravermelho. No entanto, o valor da dose beta deve ser atenuado pela multiplicação pela constante 0,92. Em seguida, faz-se necessário considerar o valor da umidade dos sedimentos, que incide de forma diferente sobre os valores da radiação beta e gama (AITKEN, 1998). Por fim, a equação para o cálculo da dose anual assume a seguinte forma:

$$D_a = 0,92 (D_\beta) / 1+1,25 H_2O + D_\gamma / 1+1,14 H_2O + D_c + D_{\beta_i}$$

Onde: D_a – Dose anual; D_β – Dose beta; D_γ – Dose Gama; D_c – Dose cósmica; D_{β_i} – Dose beta interna oriunda do ^{40}K para as amostras de feldspato potássico datadas por LOE do infravermelho e H_2O = teor de água no solo (de 0 a 1).

Neste estudo os métodos adotados para a obtenção dos níveis de radiação beta e gama (uma vez que a radiação alfa foi eliminada por tratamento dos grãos co HF) foram à análise da ativação de nêutrons (AAN), a $\hat{\text{TLD}}$ (dosimetria da termoluminescência $\hat{\text{a}}$) e contagem de radiação alfa (Tabela 1).

Os resultados obtidos de todas as peleodoses foram tratados a partir do método das médias ponderadas. Em seguida, foi feita a análise de erros para todos os parâmetros considerados na análise. Nesta etapa verificou-se que a Dose Anual de radiação manteve-se constante para ambos os métodos de cálculo da radiação beta e gama – a ativação de nêutrons e a dosimetria $\hat{\text{TLD}}$ e contagem alfa. A única discrepância foi encontrada para a amostra OBV 11 (Serra da Baixa Verde), mas, devido à constância do valor obtido por $\hat{\text{TLD}}$, optou-se por considerar este valor como sendo correto para a dose anual da amostra; as demais amostras tiveram sua dose anual calculada a partir das medições obtidas por ativação de nêutrons (Tabelas 2)

De acordo com o exposto, para o maciço da Serra da Baixa Verde as amostras foram submetidas à datação absoluta por LOE nos laboratórios da Universidade de Durham, Reino Unido. Uma amostra de carvão vegetal foi enviada ao Laboratório Beta Analytics, Flórida, EUA, para datação por C^{14} .

Tabela 1 – Concentrações de radioisótopos medida por ativação de nêutrons, teor de umidade e doses anuais de radiação por amostra da Serra da Baixa Verde (*dose calculada por $\hat{\text{TLD}}$).

AMOSTRA	K %	U PPM	TH PPM	TEOR DE UMIDADE %	DOSE ANUAL (GY/KA)
OBV 11	3,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	6,6 ± 0,1	8,3	8,98 ± 3,2*
OBV 12	6,7 ± 0,3	1,5 ± 0,1	5,74 ± 0,09	6,7	7,3 ± 3,5
OBV 22	8,3 ± 0,4	0,8 ± 0,1	3,40 ± 0,07	7,1	8,0 ± 3,7
OBV 23	10,0 ± 0,4	1,46 ± 0,07	5,28 ± 0,06	4,6	10,0 ± 3,7
OBV 31	8,2 ± 0,4	0,9 ± 0,1	6,83 ± 0,08	7,1	8,5 ± 3,5
OBV 41	8,6 ± 0,4	1,0 ± 0,1	5,14 ± 0,07	4,4	9,0 ± 3,6
OBV 42	9,3 ± 0,4	0,95 ± 0,09	4,13 ± 0,06	5,7	9,1 ± 3,7
OBV 51	9,4 ± 0,4	0,6 ± 0,1	6,89 ± 0,08	4,9	9,3 ± 3,7
OBV 52	10,4 ± 0,5	0,93 ± 0,09	4,08 ± 0,06	4,0	10,6 ± 3,6
OBV 53	9,2 ± 0,4	1,0 ± 0,1	4,20 ± 0,06	4,7	9,1 ± 3,7
OBV 61	7,8 ± 0,4	1,87 ± 0,09	8,0 ± 0,08	4,3	8,7 ± 3,5
OBV 62	7,9 ± 0,4	1,54 ± 0,09	8,38 ± 0,08	4,8	8,3 ± 3,6
OBV 63	9,4 ± 0,4	1,40 ± 0,08	5,14 ± 0,06	3,3	9,6 ± 3,7

Para as amostras de Brejo da Madre de Deus, as doses anuais foram calculadas usando as concentrações de ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U , medidas no Laboratório de Vidros e Datação da FATEC – SP, utilizando um detector “d NAI” (Tabelas 3 e 4).

Tabela 2 – Cálculo final das idades – Serra da Baixa Verde

PARÂMETROS	OBV 11	OBV 12	OBV 22	OBV 23	OBV 31	OBV 41	OBV 42
Paleodose (Gy)	183,5 ± 64,6	77,9 ± 19,4	50,6 ± 5	2,2 ± 0,18	60,1 ± 13,9	63,6 ± 23,1	66,1 ± 2,4
Dose β Interna (Gy/Ka)	0,4	0,4	–	–	0,4	0,4	–
Dose β (Gy/Ka)	5,8	4,7	5,5	6,95	5,6	6	6,3
Dose γ (Gy/Ka)	3,0	1,9	2,1	2,7	2,2	2,3	2,4
Dose Cós mica (Gy/Ka)	0,18	0,2	0,22	0,22	0,21	0,18	0,22
Teor de Umidade %	8,3	6,7	7,1	4,6	7,1	4,4	5,7
Dose Anual (Gy/Ka)	8,98 ± 3,2	7,3 ± 3,5	8 ± 3,7	10 ± 3,7	8,5 ± 3,5	9 ± 3,6	9,1 ± 3,7
Idade (Ka)	20,4 ± 7,2	10,6 ± 2,6	6,3 ± 0,6	0,22 ± 0,02	7,1 ± 1,6	7,1 ± 2,5	7,2 ± 0,3
Parâmetros	OBV 51	OBV 52	OBV 53	OBV 61	OBV 62	OBV 63	
Paleodose (Gy)	83,1 ± 4,3	90,1 ± 28,1	43,1 ± 2,4	60,3 ± 9,9	69,6 ± 1,7	0,87 ± 0,1	
Dose β Interna (Gy/Ka)	–	0,4	–	0,4	–	–	
Dose β (Gy/Ka)	6,5	7,2	6,3	5,6	5,6	6,6	
Dose γ (Gy/Ka)	2,5	2,7	2,4	2,4	2,3	2,6	
Dose Cós mica (Gy/Ka)	0,18	0,19	0,21	0,21	0,2	0,23	
Teor de Umidade %	4,9	4	4,7	4,3	4,8	3,3	
Dose Anual (Gy/Ka)	9,3 ± 3,7	10,6 ± 3,6	9,1 ± 3,7	8,7 ± 3,5	8,3 ± 3,6	9,6 ± 3,7	
Idade (Ka)	8,9 ± 0,5	8,5 ± 2,6	4,7 ± 0,3	6,9 ± 1,1	8,4 ± 0,3	0,09 ± 0,01	

Tabela 3 – Distribuição anual de Th, U e K por amostra de Brejo da Madre de Deus.

AMOSTRAS	K %	U PPM	TH PPM
Tabocas 190	0,919±0,133	8,005±0,127	17,574±0,633
Tabocas 340	0,942±0,137	6,966±0,193	16,803±0,605
Tabocas 360	1,927±0,193	6,393±0,639	18,084±1,808

Análise e Discussão

Localização e Significado Geomorfológico dos Colúvios

Na Serra da Baixa Verde, a primeira área de amostragem situa-se num avental coluvial ao norte do núcleo urbano de Santa Cruz da Baixa Verde, no engenho Boa Esperança. O avental de colúvio baliza uma elevação circular com topo a 1.014 metros. O ponto de coleta foi definido em uma ravina no setor médio-inferior da encosta convexa do colúvio, a 840 metros de altitude.

Tabela 4 – Idades finais para as amostras de Brejo da Madre de Deus

PARÂMETROS	TABOCAS 190	TABOCAS 340	TABOCAS 360
Dose anual (Gy/Ka)	4.261±276	4.273±235	4.575±217
P (Gy)	257,69	315,79	91,80
Idade (Ka)	60.500±6.900	73.900±7.800	20.100±2.000

A ravina corre paralelamente à estrada e segue a linha de maior declividade da encosta. A encosta recoberta por colúvio apresenta uma declividade geral de 11°, e forma um “knick-point” com a encosta superior onde não ocorre o recobrimento coluvial; acima deste ponto o gradiente é sempre maior que 25°.

A segunda área está situada no Sítio São José dos Pilotos, município de Triunfo, a 850 metros de altitude, em uma voçoroca na seção média inferior de uma encosta convexa. A ravina em questão faz parte de um sistema de voçorocas radiais que ocupa a média e a baixa encosta de um alvéolo de morfologia geral côncava. O material coluvionar apresenta espessamento em direção ao eixo do “hollow”.

O alvéolo é uma cabeceira de ordem zero, não canalizada. A cobertura coluvial estende-se desde a média encosta até a vizinhança do canal principal de 1º ordem e exhibe uma morfologia convexa com uma frente lobada, que se assemelha ao setor distal de um fluxo de lama. A área fonte deste material possivelmente são as depressões côncavas situadas próximas ao topo do alvéolo; a área apresenta-se isenta de cobertura sedimentar.

Embora a baixa encosta apresente continuidade espacial com a meia encosta e não apresente ruptura de gradiente, sua estratigrafia apresentou-se notavelmente distinta, com características mais próprias de um setor distal de um leque coluvial.

A terceira área de coleta de amostras está situada em um amplo avental coluvial nas proximidades da escarpa meridional do maciço, a 570 metros de altitude. O avental coluvial cortado por voçorocas ocorre nas proximidades do povoado de Jetiúca, e forma um pedimento detrítico com um ângulo de inflexão muito bem definido com os setores superiores da encosta. Ao total, seis pontos foram amostrados nesta área, que apresentou a estratigrafia mais diversificada dentre as áreas estudadas no maciço.

O aspecto geral do depósito é o de uma série de leques coluviais provenientes dos setores superiores da encosta, gerando uma morfologia em avental, com uma estrutura subsuperficial de rampas de colúvio sobrepostas e um gradiente médio entre 10° e 11°. A unidade coluvial superior forma um “knick-point” bem marcado com a alta encosta desprovida de sedimentos.

A quarta área consiste de uma rampa de colúvio com 9,5° de inclinação, exibindo diversas exposições em forma de bancadas, que permitiram a observação de três unidades estratigráficas distintas: o colúvio

fino, vermelho, sem estrutura, encontrado ubiqüamente na área; o conglomerado basal, que neste local torna-se mais espesso que o normal, ao preencher páleo-depressões e canais, e uma terceira unidade, desta vez um colúvio finamente estratificado situado na média encosta, sobre o conglomerado basal, mas a jusante do colúvio fino vermelho, sem apresentar relação de superposição ou de contato lateral com este último. Mais uma vez, nesta área de coleta, o topo da camada conglomerática apresentava níveis cimentados por concreções lateríticas. O colúvio vermelho superior dá lugar a um colúvio laminado a jusante, que confirma que os processos que operam na encosta sofreram mudanças ao longo do espaço, desde a alta para a média encosta. O colúvio laminado possivelmente resulta da erosão laminar.

A feição mais notável desta área de amostragem é vista a partir do corte de estrada que a secciona em sua porção basal, onde se observa o contato brusco do conglomerado basal com a rocha mãe intemperizada. A feição de entulhamento do eixo de uma páleo-depressão pelo material rudáceo evidencia uma inversão local do relevo, com posterior reafeiçoamento da encosta em forma de “pedimento detrítico”.

A área de amostragem em Brejo da Madre de Deus está situada do distrito de Tabocas, a 650 metros de altitude; trata-se de uma cabeceira de drenagem côncava do tipo hollow, com recobrimento coluvial constituindo uma rampa de inclinação suave estendendo-se até o pedimento, formando um angulo de inflexão bem definido com os setores superiores da encosta desprovida de sedimentos. O material coluvionar encontra-se seccionado pela abertura de uma rodovia secundária, deixando a mostra uma seqüência relativamente espessa de um material areno-argiloso vermelho e de estrutura maciça.

Significado Morfoestratigráfico dos Depósitos a Partir das Seções Verticais

A partir da análise estratigráfica e das estruturas sedimentares dos depósitos percebe-se que, na Serra da Baixa Verde, a primeira área de amostragem, a ravina corta um colúvio avermelhado de textura fina – areia silto-argilosa de fina a média – que se sobrepõe a um cascalho de seixos angulosos em uma matriz silto-argilosa. Próximo à base do pacote o cascalho torna-se clasto suportado e transita localmente para um conglomerado de seixos cimentado por óxido de ferro, formando um nível endurecido. Abaixo do conglomerado, encontra-se o embasamento sienítico alterado, que também está sendo dissecado pelo processo atual de ravinamento.

O contato entre o colúvio fino e o conglomerado é marcado por um nível de pisólitos, que podem indicar que a crosta subjacente está sendo gradualmente degradada sob as condições mais úmidas contemporâneas. Também foi observado que o cimento laterítico do conglomerado transita para uma matriz caulínica no topo da cascalheira.

O colúvio superior exhibe um aspecto notavelmente maciço, sem descontinuidades internas notáveis. O sedimento avermelhado encontra-se intensamente mosqueado e apresentam evidências de atividades biogênicas, como túbulos de raízes e de insetos.

Da base para o topo, o perfil descrito mediu aproximadamente 2,05 metros, compreendendo 50 cm de conglomerado e cascalheira basal e 155 cm de colúvio vermelho fino. O contato entre o embasamento sienítico e o conglomerado basal não foi observado no perfil estudado, contudo, ele ocorre aflorando em outros pontos, ao longo do fundo da ravina, nas proximidades do transecto estudado (Figura 6).

Na segunda área, a estrutura superficial do alvéolo compreende três unidades estratigráficas distintas: uma unidade conglomerática basal com cimento laterítico – regolito – e um colúvio, mais fino, com matriz siltosa, contendo alguns fenoclastos; ambos ocorrem na média encosta. Na baixa encosta ocorre uma terceira unidade, com estrutura levemente estratificada, que intercala camadas cascalhentas e de areias grossas com camadas de areia mais fina, com maior teor de argila. A morfologia lobata desta unidade sugere a ocorrência de fluxos de lama, que retrabalharam o material à montante.

O conglomerado basal – regolito – é clasto suportado e alguns dos clastos atingem mais de 20 cm no eixo longo. O colúvio mais fino, matriz suportado, que se sobrepõe ao conglomerado, pode ser descrito como uma areia silto-argilosa contendo eventuais fenoclastos do tamanho de seixos. Os 50 cm superiores do depósito exibem claras evidências de perturbação pelas atividades agrícolas (Figura 7).

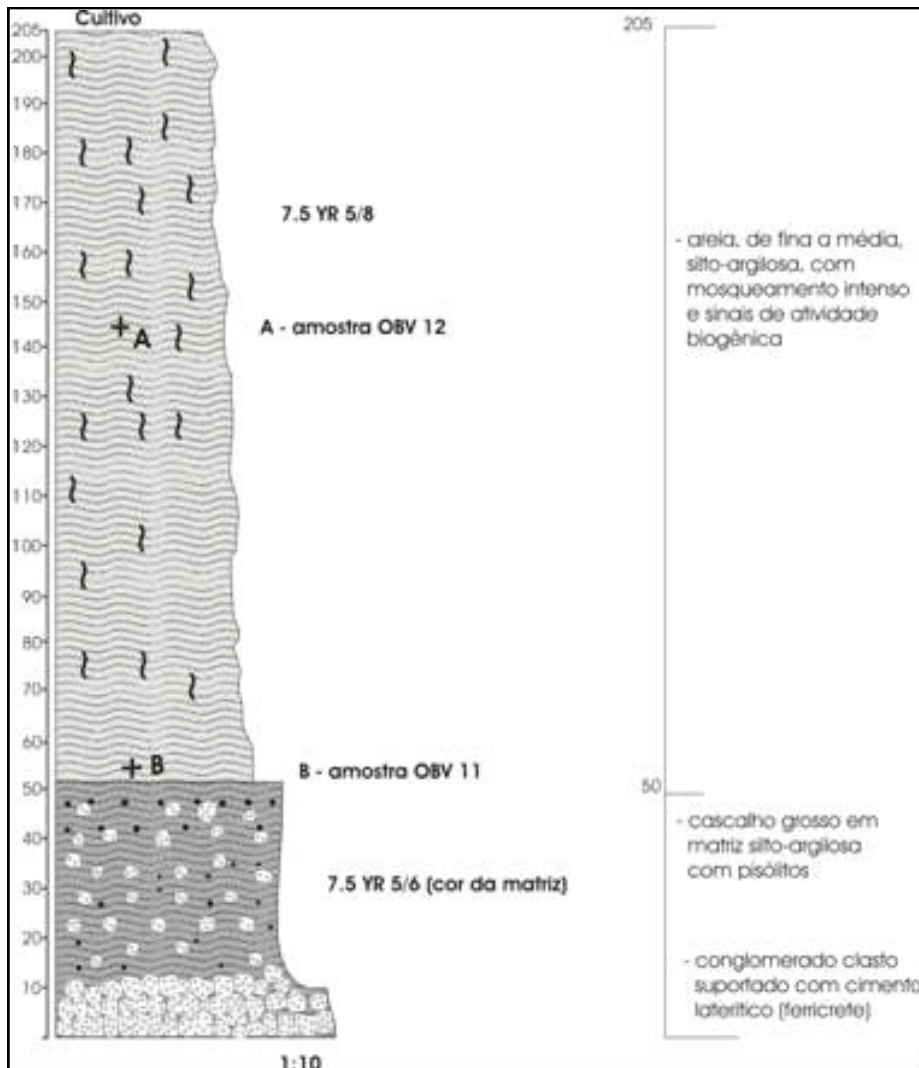


Figura 6 – Seção Vertical – Amostra OBV 11 e OBV 12

Uma terceira área foi estudada na baixa encosta nas paredes de uma antiga cacimba. O afloramento possui 150 cm de profundidade e uma estrutura grosseiramente estratificada: camadas de areia grossa intercaladas por camadas de areia fina, com teor mais alto de silte e argila. Esta mudança na estrutura sedimentar da média para a baixa encosta talvez indique uma mudança nos processos deposicionais que operaram ao longo do eixo do alvéolo. Na fácies distal do depósito coluvial a erosão laminar deve ter sido predominante, o que responde pelas estruturas estratificadas (Figura 8). Estes processos possivelmente retrabalharam o material dos setores superiores da encosta. Apesar da continuidade topográfica entre os setores da encosta, a sua frente lobata pode ter evoluído em um episódio diferente de deposição que redistribuiu os sedimentos de eventos anteriores de formação de colúvio que aconteceram na média encosta.

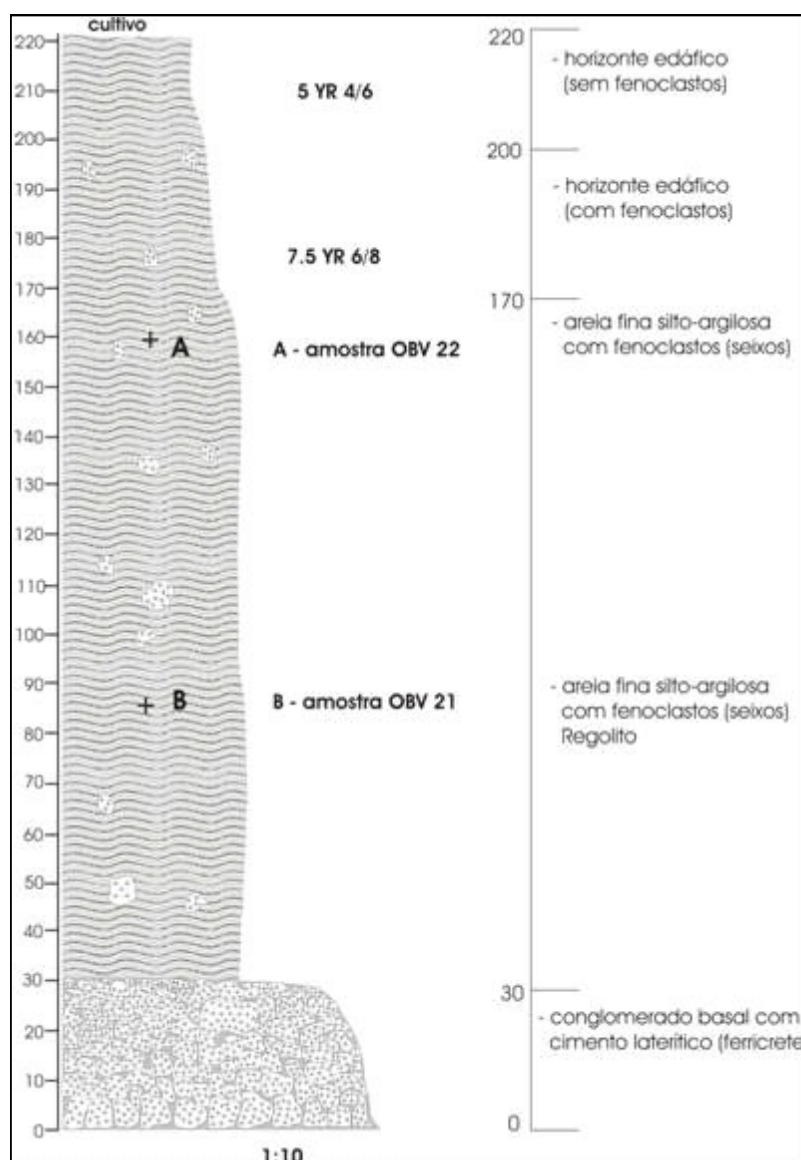


Figura 7 – Seção Vertical – Amostra OBV 21 e OBV 22

Na terceira área de coleta, a estratigrafia compreende um conglomerado basal e pelo menos duas seqüências superiores de colúvio mais fino que recobrem a unidade conglomerática. As unidades colúvias mais finas são separadas uma das outras por cascalheiras e linhas de seixos descontínuas.

A primeira amostra desta área foi coletada do topo da camada conglomerática basal, ao longo das paredes de uma trincheira escavada por uma linha de drenagem subsequente que corta transversalmente a base do avental de colúvio. O sedimento coletado trata-se de uma cascalheira matriz suportada, que se definiu como o nível superior da unidade conglomerática basal. O nível inferior desta unidade é um conglomerado clasto suportado; os clastos maiores apresentam imbricação do eixo longo paralela ao gradiente da encosta. As camadas de cascalho observada na área mostram uma constante granodrecrescência ascendente, com clastos mais finos no topo da seqüência (Figura 9).

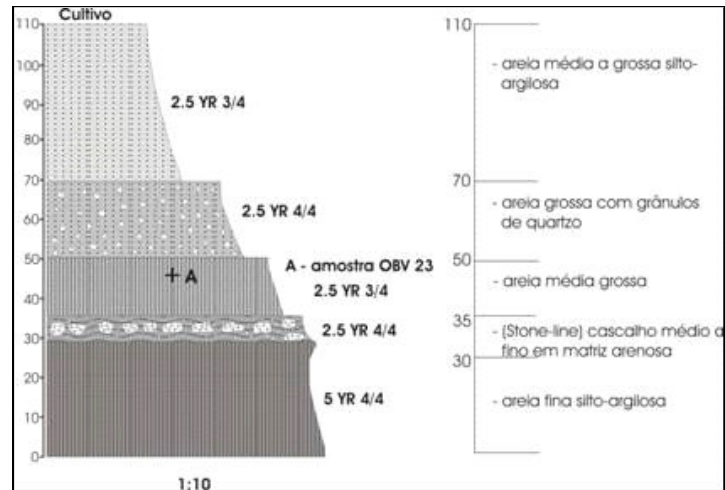


Figura 8 – Seção vertical – Amostra OBV 23

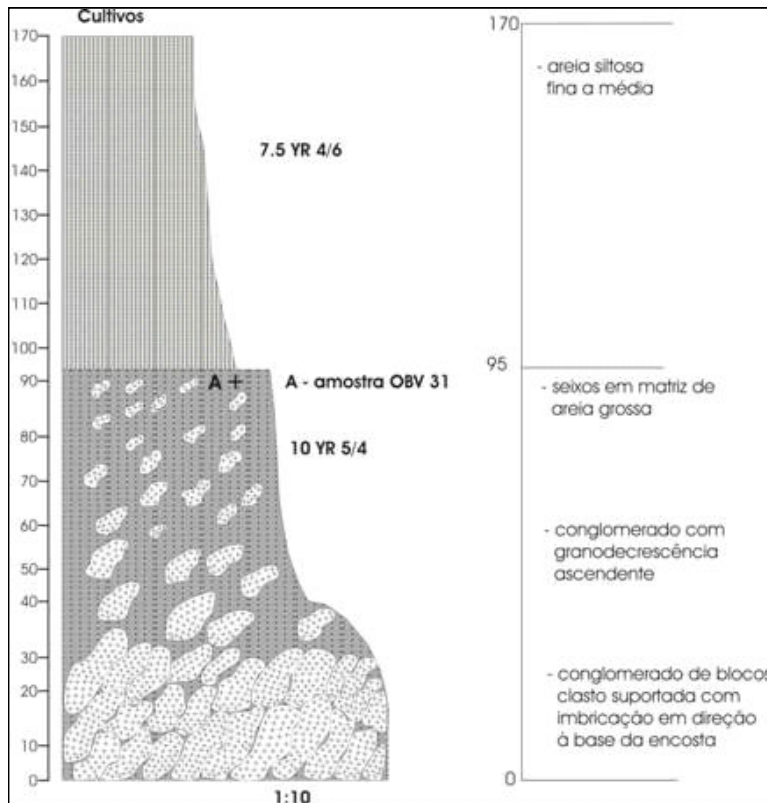


Figura 9 – Seção vertical – Amostra OBV 31

O segundo ponto da área de coleta 3 situa-se à montante do primeiro ponto, no trecho em que o canal de drenagem inflete-se em direção ao eixo da encosta, formando uma inflexão de 90°. Dois pontos de amostragem foram selecionados nos colúvios vermelhos finos, acima e abaixo de uma camada de cascalho que separa os dois depósitos. Os sedimentos coletados consistem de uma areia silto-argilosa média a fina, contendo grânulos de quartzo de até 0,5 cm de diâmetro médio. A linha de seixos de

aproximadamente 10 cm de espessura separa as unidades colúvias e é composta por seixos platiformes de 6 a 7 cm de comprimento imbricados para jusante. Neste ponto a cascalheira basal mostrou uma constante granodrecrescência ascendente, variando de blocos clasto suportados na base – blocos de até 35 cm – a cascalho médio, próximo ao topo, com seixos suportados por uma matriz arenosa (Figura 10).

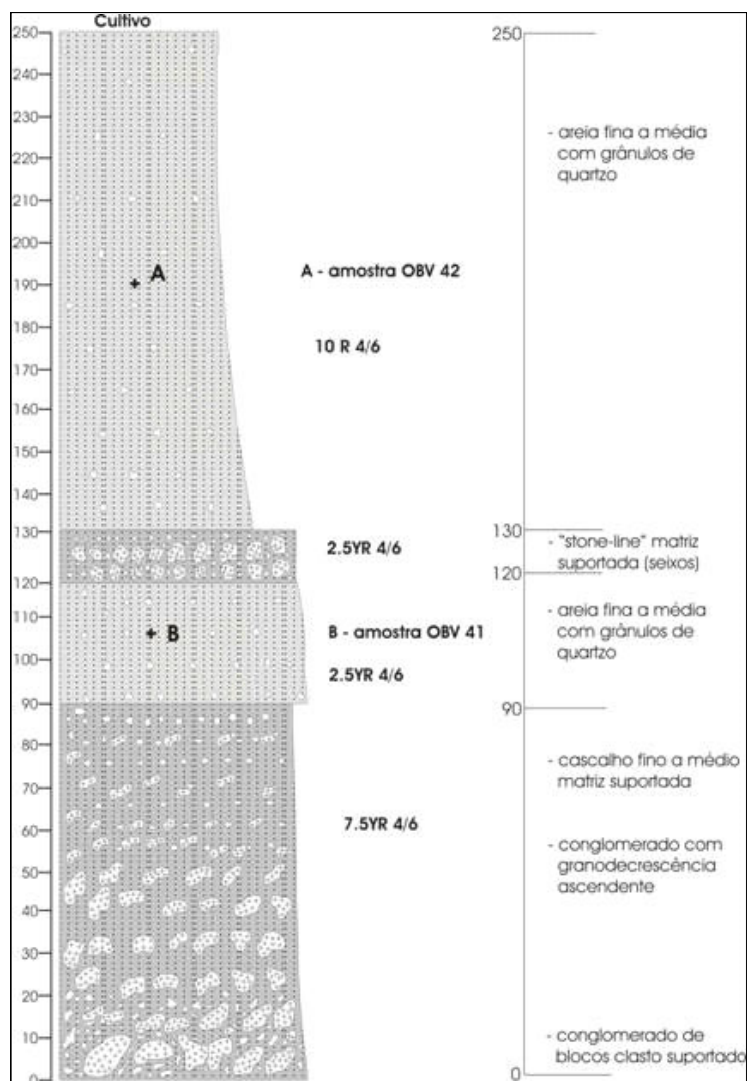


Figura 10 – Seção vertical – Amostras OBV 41 e OBV 42

Um terceiro ponto de coleta foi escolhido a 100 metros a montante do segundo, ao longo da mesma linha de drenagem. Neste ponto um colúvio vermelho fino, areia argilosa, foi observado sobreposto a uma cascalheira, mais espessa que uma linha de seixos.

A cascalheira tem aproximadamente 50 cm de espessura e também mostrou uma granodrecrescência ascendente. Sua granulometria variou entre cascalho de blocos de cerca de 20 cm na base a um cascalho de calhaus e seixos angulosos no topo. O sedimento colúvio, acima e abaixo da cascalheira, contém uma quantidade considerável de grânulos de quartzo numa matriz de areia argilosa. Os grânulos em geral têm menos de 0,5 cm de diâmetro médio.

A aproximadamente 95 cm da superfície, exatamente no topo da cascalheira, foram encontrados diversos fragmentos de carvão vegetal. O carvão estava incorporado ao sedimento do topo da cascalheira

e, possivelmente, deve ter transportado a partir dos trechos superiores da encosta, juntamente com o sedimento rudáceo que deu origem a este depósito (Figura 11).

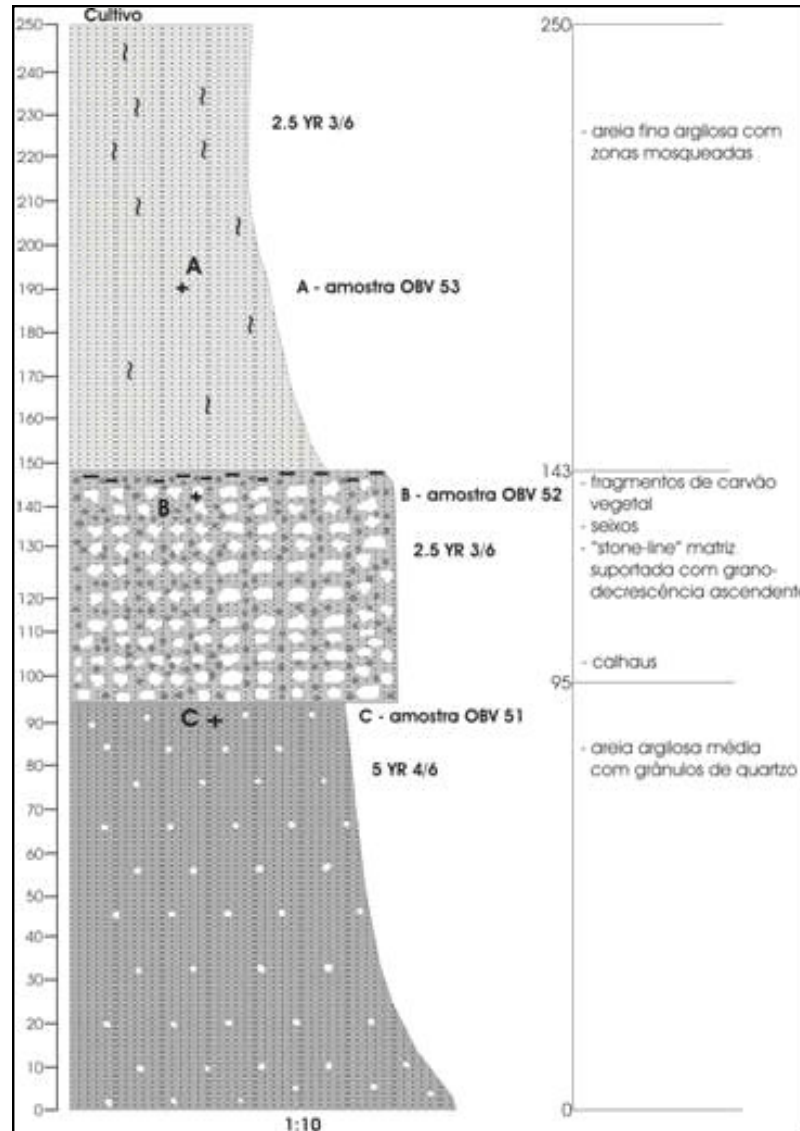


Figura 11 – Seção vertical – amostras OBV 51, OBV 52 e OBV 53.

Na quarta área de coleta, um colúvio vermelho foi amostrado em uma bancada com 120 cm de altura, na cabeceira do avental de colúvio, a cerca de 100 metros abaixo do *knick-point*. As amostras foram retiradas a cerca de 60 cm da superfície e o material é uma areia siltosa com grânulos de quartzo. Observou-se que os 35 cm superiores do perfil apresentavam intenso mosqueamento (Figura 12).

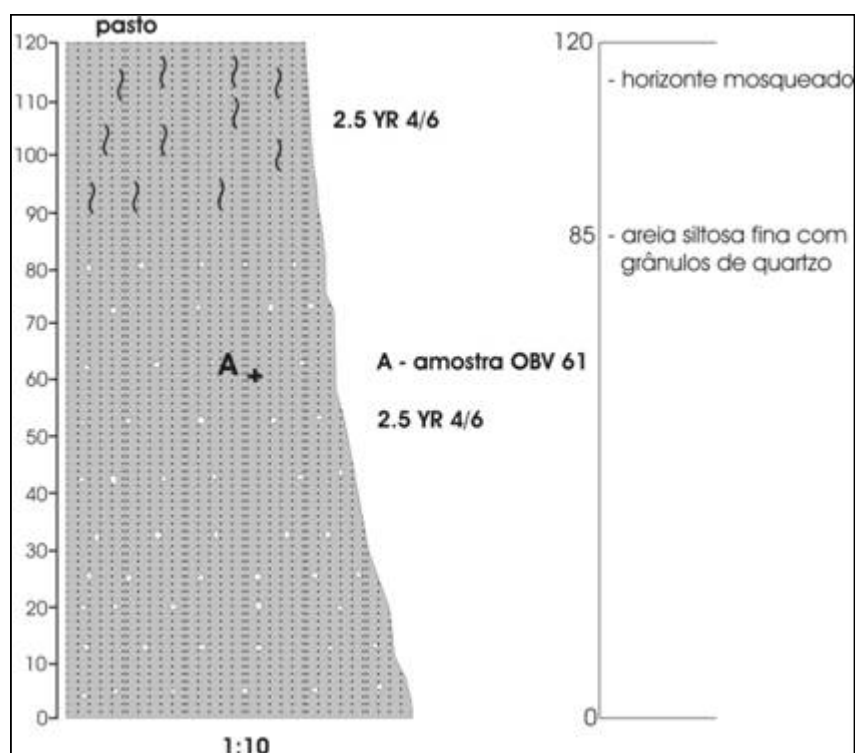


Figura 12 – Seção vertical – amostra OBV 61

Um colúvio laminado ocorre a aproximadamente 80 metros a jusante do colúvio vermelho maciço. Não se observa nenhuma sobreposição direta, nem um contato lateral entre as unidades. O material estratificado consiste de uma alternância de camadas de areia fina silto-argilosa e areia grossa contendo grânulos de quartzo.

O afloramento amostrado do colúvio laminado ocorre em uma bancada de cerca de 95 cm de altura e exibe um contato brusco entre o colúvio superior laminado e o conglomerado basal amarelado. A discordância entre estes dois depósitos encontra-se bem marcada por um nível de material amarelado rico em argila, que pode tratar-se de um horizonte Bt truncado reliquial. O conglomerado também apresentou uma granodecrescência ascendente, variando de um material clasto suportado na fração calhaus na base, a camada de laminação irregular de seixos de quartzo no topo da seqüência. As amostras foram coletadas respectivamente a 30 e 60 cm da superfície da bancada. As amostras superiores foram retiradas do material laminado mais fino, enquanto que as inferiores foram retiradas do topo da camada conglomerática (Figura 13).

No distrito de Tabocas, Brejo da Madre de Deus, a seqüência coluvial apresenta uma espessura de 4,10 metros, seccionado por uma rodovia secundária, exibindo duas unidades estratigráficas distintas separadas por uma linha de seixos: a unidade inferior, um colúvio grosso matriz suportada, descrito como uma areia grossa argilo-arenosa avermelhada, apresenta freqüentes fenoclastos do tamanho seixo, e desprovido de estrutura. Não foi observado o contato entre o embasamento rochoso e o colúvio no perfil, contudo, ele ocorre em outros segmentos da estrada. Próximo a unidade superior, abaixo da linha de seixo, o colúvio toma uma proporção de areia muito grossa, evidenciando que a mesma sofreu evacuação de fácies argilo-silticas pelo processo de erosão laminar, à medida que um pavimento detrítico era formado na superfície do colúvio antes da nova deposição. A unidade superior é constituída de areia fina a média silto-argilosa, mosqueada, com freqüentes grânulos de quartzo, e apresentando uma estrutura maciça.

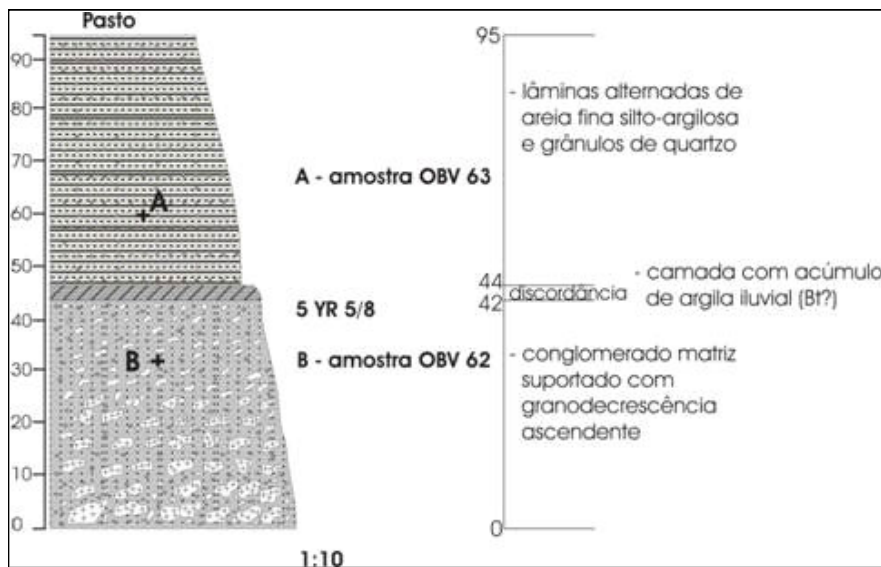


Figura 13 – Seção vertical – amostras OBV 62 e OBV 63.

As amostras para as diversas análises foram coletadas a 190, 340 e 360 cm da base ao longo do perfil. O espaçamento entre os pontos de coleta foi definido, em campo, de acordo com o aspecto estratigráfico. O primeiro nível amostrado foi o meio do colúvio do patamar inferior, areia grossa argilo-arenosa; o segundo e terceiro níveis amostrados correspondem a base e o topo da linha de seixo - “stone-line” (Figura 14).

Os colúvios analisados nas encostas semi-áridas e sub-úmidas da Serra da Baixa Verde e Brejo da Madre de Deus, expostos ao longo de ravinas e cortes de estradas, mostraram pouca variação em sua distribuição granulométrica, sobretudo nas frações areia, o que indica pouca variação dos processos de transporte de sedimento ao longo do tempo. A fração areia é mal selecionada e apresenta frações modais com predomínio das frações médias e finas. O material de encosta aparentemente foi acumulado pela erosão em lençol e por fluxo de detritos. No entanto, a subdivisão dos sedimentos de encosta em unidades colúvias discretas torna-se difícil, devido ao grau de alteração pedogenética do material; apenas as cascalheiras basais sobreviveram à pedoturbação generalizada. Da mesma forma, as unidades mais recentes ainda guardam estruturas primárias de deposição, na forma de estratificação e estruturas laminares.

Em todas as amostras foi observada a abundância de material de diversos estágios de alteração e presença notável de feldspatos frescos. Esta característica também sugere o tipo de transporte “relativamente” rápido, com isolamento pós-deposicional do material, além da ineficácia do clima em gerar um material de alteração mais amadurecido mineralogicamente.

Observou-se, por fim, que na área estudada a distribuição catenária dos solos é inúmeras vezes truncada pela retomada dos processos erosivos que geram novas áreas deposicionais à jusante das áreas fontes. De maneira geral, a distribuição dos atributos pedológicos – granulometria, mineralogia de argila, razão silte-areia, etc. – tende a respeitar a concepção catenária básica para encostas sub-úmidas sob vegetação transicional floresta/savana: os depósitos de baixa encosta, em seu trecho final, são, em geral, mais grosso, arenosos e mais jovens, fruto do retrabalhamento dos depósitos bem drenados, avermelhados, da média encosta, geralmente com maior teor de argila.

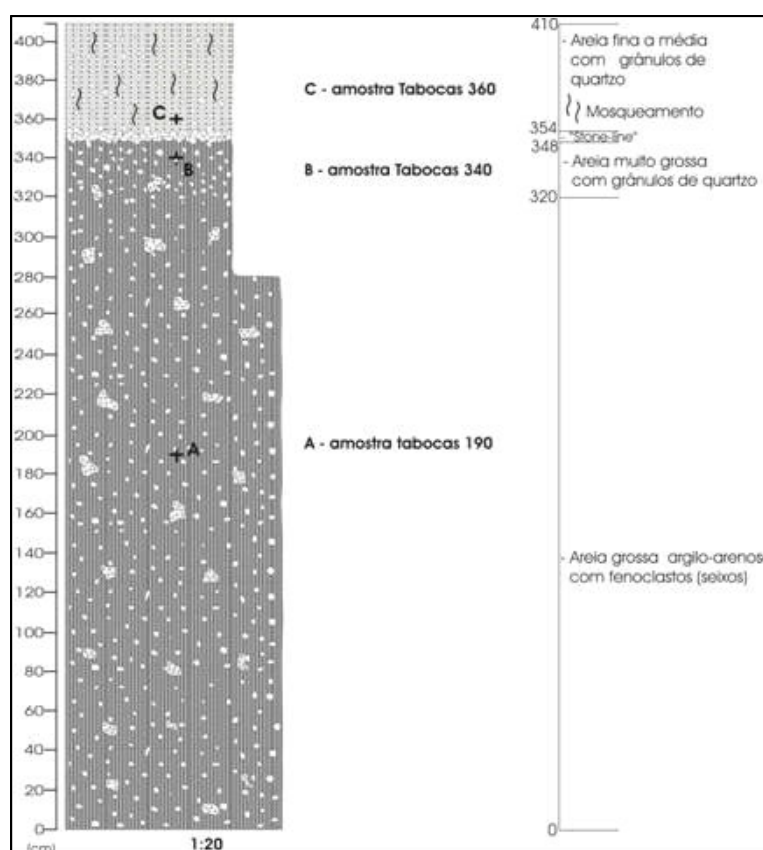


Figura 14 – Seção vertical – amostras Tabocas 190, Tabocas 340 e Tabocas 360.

Significado das Datas de Deposição

Com base nas evidências sedimentológicas apresentadas, na datação por LOE e no mapeamento geomorfológico de detalhe foi possível reconstruir, qualitativamente, os diversos cenários da dinâmica geomorfológica estudados no Maciço da Serra da Baixa Verde e Brejo da Madre de Deus.

Serra da Baixa Verde

Área 1 - Na área 01 de amostragem foi observada uma superposição simples de eventos: um conglomerado basal sotoposto a um colúvio vermelho fino, com um intervalo de cerca de 10.000 anos na deposição. As datações coincidem com eventos marcantes de reorganização da paisagem: o UMG e o limite Pleistoceno/Holoceno. Os processos atuantes possivelmente foram os fluxos de detritos, responsável pela cascalheira da base e as corridas de lama, e erosão laminar originando o colúvio vermelho, maciço do topo. Ambas as unidades apresentam uma maior maturidade pedogenética, quando comparadas às demais áreas amostradas, o que confirma o controle “temporal” sobre a pedogênese. A unidade superior, no entanto, apresentou menor amadurecimento mineralógico – evidência da mineralogia de argilas, o que foi confirmado pela sua idade mais jovem. As estruturas deposicionais primárias, no entanto, estão ausentes de ambas as unidades, exceção da cascalheira/conglomerado basal. A ocorrência de níveis de crosta laterítica esteve restrita ao conglomerado basal, ao longo dos eixos de drenagem. Tal situação talvez

indique um controle da hidrologia da encosta sobre migração do ferro no perfil.

Área 2 - A área de amostragem 02, um alvéolo elevado no domínio do clima sub-úmido, exibiu uma distribuição de unidades deposicionais adaptadas à morfologia da encosta côncava, com ressaltos estruturais. Duas áreas deposicionais distintas foram identificadas: uma no ponto de inflexão do gradiente da encosta, no seu setor mediano, e outra no setor terminal da encosta. A unidade superior apresentou-se mineralogicamente madura, praticamente indiferenciada do regolito imediatamente abaixo. Sua idade, de 6,3 ka, atesta a ocorrência de um evento de deposição do Holoceno médio, que permaneceu preservado em uma pequena depressão ao longo da encosta. O depósito da baixa encosta é nitidamente um retrabalhamento do material à montante. Sua morfologia superficial ainda guarda o aspecto “abaulado” em forma de um pequeno leque, provavelmente oriundo de episódios repetidos de corridas de lama. A idade de 200 anos indica uma gênese possivelmente antrópica, pois coincide com a colonização da área e erradicação da floresta plúvio-nebular para a introdução generalizada da cultura do café. Ao contrário do material situado na média encosta, esta unidade apresenta estruturas deposicionais na forma de estratos alternados de granulometria diversa.

Área 3 - A área de amostragem 03, um avental de colúvio, formando um pedimento detrítico em pleno domínio semi-árido na encosta meridional do maciço, exibiu uma estratigrafia complexa, mas com relativa preservação de estruturas deposicionais que permitiram uma melhor compreensão dos eventos deposicionais ocorridos. A primeira característica peculiar a este domínio foi a relativa imaturidade mineralógica dos sedimentos, além da ocorrência de nítidas feições de transporte – pedorrelíquias e litorrelíquias. As matrizes dos sedimentos também apresentaram boa coerência com as matrizes de fluxos de detritos, como apresentadas na literatura.

Em subsuperfície foi possível observar a ocorrência de diversos eventos de coluvionamento, separados por níveis de cascalheiras de diversas espessuras. As idades obtidas demonstraram uma boa coerência espacial, sendo as mais antigas referidas aos materiais encontrados à montante da encosta e à maior profundidade, o que indicou um contínuo retrabalhamento do material ao longo da encosta, possivelmente por pequenos fluxos de detritos e corridas de lama, além da erosão laminar. Aparentemente esta encosta esteve ativa ao longo de todo Holoceno inferior e médio, com um cessar da atividade em torno de 4 ka ap.

A unidade mais antiga, ca. 9ka ap – idade referendada por uma amostra de carvão vegetal datada por ^{14}C - ocorreu próxima ao *knick-point*, a uma profundidade de 160 cm da superfície. Trata-se de uma cascalheira de cerca 50 cm de espessura, em cujo topo foi encontrada a amostra de carvão, o que atesta a posição superficial desta unidade e a possível ocorrência de episódios de incêndio espontâneo no limiar do Holoceno. A unidade que recobre a cascalheira, com mais de 1m de espessura, forneceu uma idade de 4,7 ka, o que indica que um substancial intervalo deposicional (erosivo) ocorreu no ponto de inflexão da encosta. A unidade referida apresenta-se extremamente maciça e sem fenoclastos.

Os dois outros pontos amostrados na encosta encontram-se no seu setor “pedimentar” propriamente dito, ao longo de uma ravina. Ambos exibiram níveis rudáceos intercalando unidades mais finas. No entanto, o primeiro destes pontos (amostra OBV 31) exibiu uma macrofábrica característica de um lobo terminal de um fluxo de detrito com blocos imbrincados na direção do eixo da encosta. O outro ponto amostrado exibiu uma nítida descontinuidade entre duas unidades vermelhas, aparentemente sem estruturas. A descontinuidade foi marcada por um nível rudáceo, também apresentando imbricação de blocos.

As idades obtidas para ambos os pontos foram muito semelhantes, todas em torno de 7 ka. Uma vez que esta idade não foi registrada no ponto de amostragem da média encosta, pode se aventar a hipótese de que estes depósitos, encontrados à jusante, são decorrentes do retrabalhamento dos primeiros, do Holoceno inferior.

O modo de deposição em fluxos gerou matrizes homogêneas nas amostras que foram rapidamente isoladas da erosão superficial. Aquelas que estiveram expostas em superfície por mais tempo exibiram uma certa evacuação da matriz e concentração das frações mais grossas.

Área 4 - A área 04 consiste de um “pedimento” clássico, com nítido ponto de inflexão marcando pontos de ruptura de gradiente. A cobertura detrítica, no entanto, está localmente preenchendo eixos de

páleo-depressões, chegando mesmo a inverter o relevo numa escala local.

Observou-se um padrão de ocorrência de depósitos misto, uma espécie de combinação do que foi observado nas áreas 02 e 03. Outra característica interessante foi a relativa maturidade mineralógica do material, apesar de encontrar-se em pleno domínio semi-árido, sobre o mesmo “inselberg” em que se encontram os depósitos da área 3, da qual dista cerca de 2 km. Aqui talvez tenha ocorrido uma combinação de fatores: a suavidade da encosta, permitindo uma boa drenagem do material e a posição de barlavento, na extremidade sul do inselberg, ao contrário da área 03, totalmente na sombra pluvial do mesmo.

As unidades exibiram uma grande descontinuidade espacial, com intervalos de afloramento da rocha fresca, ou pouco alterada entre as duas principais áreas de estocagem. Uma situa-se ao longo da base do *knick-point*, tratando-se de um colúvio vermelho fino contendo pedorrelíquias (OBV 61). A outra unidade importante, OBV 62, ocorre em subsuperfície e no setor distal do pedimento. Trata-se de uma cascalheira que entulha uma antiga páleo-depressão, sob a qual se estrutura a superfície contemporânea do pedimento.

No setor mediano do pedimento ocorre ainda um sedimento laminado em forma de bancada, de cerca de 60 cm de altura, que está em nítido contato erosivo sobre a cascalheira basal e não se conecta com o colúvio vermelho do setor proximal da encosta.

As datas obtidas para as três unidades atestam a dinâmica episódica do coluvionamento na região com pulsos bem marcados, ainda que resultando em depósitos delgados e não necessariamente interconectados. A cascalheira basal, com idade de 8,4 ka, confirma o evento deposicional do limiar do Holoceno, em que aparentemente houve uma remobilização generalizada das coberturas rudáceas pleistocênicas. O colúvio vermelho, por sua vez, atesta o evento pluvial do Holoceno médio, com idade de 6,9 ka, enquanto a bancada de material laminado resultou em uma idade extremamente recente, cerca de 90 anos. Esta unidade recente confirma a dinâmica pulsátil destes geossistemas e, possivelmente, reflete os episódios extremamente chuvosos do início da década de 1910, após as prolongadas estiagens do último quartel do século XIX – as mais severas que já afetaram a região.

Brejo da Madre Deus

No distrito de Tabocas a rampa de colúvio em forma de um pedimento exhibe uma sucessão de unidades coluviais com sobreposição vertical separados por uma linha de seixos. As amostras foram coletadas na base da unidade inferior do colúvio, abaixo e acima da linha de seixos. Os resultados das datações produziram datas muito próximas para a base e abaixo da linha de seixos, o que indica tratar-se, possivelmente, de um único evento deposicional ocorrido a 67,2 Ka, sob regime gravitacional de alta energia, correspondendo à deposição destas unidades a um fluxo de detritos de baixa viscosidade. Esta data pode ser relacionada a uma reumidificação do clima no Pleistoceno superior, antes que a cobertura vegetal se recuperasse da semi-aridez que antecederá este evento. O processo de coluvionamento deste nível também pode estar associado a eventos pluviais máximos de baixa recorrência dentro de um padrão climático correspondente ao contemporâneo.

A unidade superior, um colúvio médio, sugerindo tratar-se de uma corrida de lama sob o domínio do fluxo laminar em condições climáticas semelhantes aos sistemas pedimentares semi-áridos atuais no Nordeste do Brasil, forneceu idade de 20,1 Ka. A deposição desta unidade coincide com fases estadiais, de temperaturas rebaixadas em relação ao presente, e precipitações escassas e concentradas.

A ocorrência da linha de seixo (“stone-line”) separando as duas unidades coluviais, com datações realizadas no topo e na base desta “descontinuidade” indica que a mesma evoluiu como páleo-pavimento detrítico, pela remoção dos finos e concentração dos grossos, já que as idades registram eventos ocorridos em um longo espaço de tempo, 73,9 e 20,1 Ka respectivamente.

Por fim, a falta de sedimentos holocênicos na área sugere um modelo de intenso retrabalhamento dos depósitos mais recentes, o que aponta para o fato de que a mesma tem se comportado como área fonte de sedimento ao eixo de drenagem desde, pelo menos o Holoceno inferior.

Considerações Finais

As conclusões a respeito da dinâmica geomorfológica da Serra da Baixa Verde e Brejo da Madre de Deus foram baseados na observação dos depósitos superficiais e sua posição na paisagem. Nas áreas climaticamente diferenciadas dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema em questão, os depósitos sedimentares derivaram da remobilização dos mantos eluviais de alteração do embasamento cristalino que se reestruturaram em depósitos colúviais de diversas espessuras, associados a ciclos climáticos de signos opostos e mediados por padrões de vegetação distintos.

Uma cronologia detalhada dos eventos geomórficos do Maciço da Serra da Baixa Verde e Brejo da Madre de Deus não poderiam ter sido realizada sem o uso da LOE, o que demonstra claramente que esta técnica de datação, combinada aos estudos geomorfológicos de detalhe, oferece uma oportunidade de melhor entendimento a cerca da temporalidade das mudanças sofridas pela paisagem.

Entretanto, a principal dificuldade dessa proposta é que os depósitos colúviais, da forma que se encontram na paisagem, representam apenas uma pequena parcela dos materiais originais que se moveram das porções superiores das encostas. Os eventos de acumulação de sedimentos são pontuais, ao menos os sedimentos que conseguem permanecer sobre as encostas não indicam um processo de acumulação lento e contínuo, mas a ocorrência de eventos deposicionais discretos de curta duração.

A sedimentação basal dos colúvios da Serra da Baixa Verde (área 01) e Brejo da Madre de Deus, ocorrendo entre 20,4 e 20,1 Ka ap, respectivamente, expressam um evento geral de coluvionamento, provavelmente associado a uma reumidificação geral do ambiente no UMG no Nordeste do Brasil. Entretanto, a diferença estratigráfica dos depósitos em ambas as áreas demonstram que tal evento climático ocorreu de forma diferenciada, com o Maciço da Serra da Baixa Verde mais exposto aos sistemas atmosféricos em relação a Brejo da Madre de Deus.

Outro dado importante refere-se aos mecanismos climáticos atuantes na geração dos depósitos, pois aparentemente esses não refletem apenas a ocorrência de momentos transicionais como de climas mais secos para climas mais úmidos, mas também refletem a ocorrência de eventos máximos mesmo durante a égide de climas provavelmente mais secos, como registrados pela ocorrência de calcrete no depósito de tanque do Incó, em sincronia com a deposição de sedimentos de encosta durante o último máximo glacial, tanto na Serra da Baixa Verde, em Triunfo quando no Brejo da Madre de Deus. Este padrão indica que a utilização dos depósitos de encosta como marcadores paleoclimáticos não revela uma composição binomial de tipos climáticos e respostas erosivo-deposicionais, mas sim um intrincado padrão onde eventos de grande magnitude se intercalam a eventos de recorrência mais frequentes, por vezes até superando estes últimos na sua capacidade de elaborar formas agradacionais que sobrevivam por muito tempo como estrutura superficial da paisagem.

Referência Bibliográfica

- ADAMIEC, G. & AITKEN, M. J. Dose-rate conversion factors: update. **Ancient TL**, v.16, p.37-50, 1998.
- AITKEN, M. J. **An Introduction to Optical Dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 267 p.
- BEHLING, H. & LICHTER, M. Evidence of dry and cold conditions at glacial times in tropical south-eastern Brazil. **Quaternary Research**, v.48, p.348-358, 1997.
- CLARKE, M. L. et al. Quality assurance in luminescence dating. **Geomorphology**, v. 29, p. 173 – 185.
- FERNANDES, N. F. et al. Subsurface hydrology of layered colluvium mantles in unchanneled valleys – south-eastern Brazil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.19, p.609-626, 1994.
- GALE, S. J. & HOARE, P. G. **Petrographic Methods for the Study of Unlithified Rocks**. New York: Belhaven Press, 1991.

- GEOFREY-SMITH, D. I. et al. Optical dating studies of quartz and feldspar sediment extracts. **Quaternary Science Reviews**, v.7, p.373–380, 1988.
- HUNTLEY, D. J. et al. Optical dating of sediments. **Nature**, v. 313, p. 105-107, 1985.
- HUNTLEY, D. J. et al. Thermoluminescence spectra of some mineral samples relevant to thermoluminescence dating. **Journal of Luminescence**, v. 39, p. 123 –136, 1988.
- KNOX, J. C. Valley alluviation in south-western Wisconsin. **Annals of the American Association of Geographers**, v.62, p.401-410, 1972.
- MABESOONE, J. M. **Sedimentologia**. Recife: Editora Universitária, 1992.
- MODENESI, M. C. G. & TOLEDO, M. C. M. Weathering and formation of hillslope deposits in the tropical highlands of Itatiaia – south-eastern Brazil. **Catena**, v.27, p. 81-104, 1996.
- MOURA, J. R. S. et al. O limite Pleistoceno-Holoceno no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: **Anais do IV Congresso da ABEQUA**, São Paulo, 1993, p.15-16.
- MOUSINHO, M. R. & MONTEIRO, A. M. F. Upper Quaternary “rampas”: Doce river valley, Southeastern Brazilian plateau. **Zeitschrift fuer Geomorphologie**, v.23, p.132-151, 1979.
- MOUSINHO, M. R. & MOURA, J. R. S. Upper Quaternary sedimentation and hillslope evolution: southeastern Brazilian plateau. **American Journal of Science**, v.284, p.241-254, 1984.
- PLAISANCE, G. & CAILLEUX, A. *Dictionnaire des Sols*. Paris: La Maison Rustique, 1958.
- RENDELL, H. M. et al. Underwater bleaching of signals from sediment grains: new experimental data. **Quaternary Science Reviews**, v. 13, p. 433 – 435, 1994.
- SCHUMM, S. A. **The Fluvial System**. Chichester: Wiley, 1977.
- SELBY, M. J. **Hillslopes Materials and Processes**. Oxford: Oxford University press, 1993.
- STOKES, S. Luminescence dating applications in geomorphological research. **Geomorphology**, v. 29, p. 153 – 171, 1999.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the Tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons, ltd., 1994.
- THOMAS, M. F. & THORP, M. B. Geomorphic response to rapid climatic and hydrologic change during the late Pleistocene and early Holocene in the humid and sub-humid tropics. **Quaternary Science Review**, v.14, p.193-207, 1995.
- WAGNER, G. A. **Age Determination of Young Rocks and Artifacts: physical and chemical clocks in Quaternary geology and archaeology**. New York: Springer, 1998, 466p.

Trabalho enviado em outubro de 2008

Trabalho aceito em janeiro de 2009

